

侯永侠, 车 畅, 温 璇, 等. 草莓果实品质及其与土壤养分的相关性分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(2): 153-162.  
HOU Yongxia, CHE Chang, WEN Xuan, et al. Analysis on fruit quality of strawberry and its correlation with soil nutrient[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(2): 153-162.

## 草莓果实品质及其与土壤养分的相关性分析

侯永侠<sup>1a,2</sup>, 车 畅<sup>1a</sup>, 温 璇<sup>1a</sup>, 田晨月<sup>1a</sup>, 王潇阳<sup>1a</sup>,  
魏建兵<sup>1b</sup>, 王姗姗<sup>1a</sup>, 刘周莉<sup>1b</sup>

(1. 沈阳大学 a. 环境学院; b. 生命科学与工程学院, 沈阳 110044; 2. 东北地质科技创新中心, 沈阳 110034)

**摘 要:**近年来我国草莓产业发展十分迅速, 红颜草莓(*Fragaria × ananassa* Duch.)作为辽宁省的草莓主栽品种, 具有极高的食用价值和经济价值。为深入了解辽宁地区草莓园土壤养分状况及其对草莓果实品质的影响, 探索影响草莓果实品质的关键土壤因子, 在丹东市、本溪市和沈阳市 40 个草莓园中采集草莓果实及草莓园表层(0~20cm)土壤, 检测果实品质指标和土壤理化性质指标, 通过主成分分析对草莓果实品质进行评价, 并以主成分得分进行综合排名, 通过相关性分析探究草莓果实营养元素与土壤养分的关联。结果表明: 果实性状指标在个体间存在广泛变异, 变异系数 4.67%~56.02%, 其中果糖的变异系数最大。对各指标进行主成分分析可提取出 3 个主成分, 累积贡献率为 60.25%, 筛选出综合得分较高的 20 个草莓园。40 个草莓园总体土壤呈微酸性, 土壤碱解氮和速效磷含量过高, 有机质、速效钾含量适宜。草莓园利于提高草莓风味的土壤指标为碱解氮、速效磷、速效钾、有效硼; 有利于提高草莓外观品质的土壤指标为有机质、交换性钙和交换性镁。

**关键词:**草莓; 果实品质; 土壤质量; 相关性分析

中图分类号: S668.4

文章编号: 1000-1700(2024)02-0153-10

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Analysis on Fruit Quality of Strawberry and Its Correlation with Soil Nutrient

HOU Yongxia<sup>1a,2</sup>, CHE Chang<sup>1a</sup>, WEN Xuan<sup>1a</sup>, TIAN Chenyue<sup>1a</sup>, WANG Xiaoyang<sup>1a</sup>,  
WEI Jianbing<sup>1b</sup>, WANG Shanshan<sup>1a</sup>, LIU Zhouli<sup>1b</sup>

(1. a. College of Environment; b. College of Life Science and Bioengineering, Shenyang University, Shenyang 110044, China;

2. Northeast Geological S&T Innovation Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China)

**Abstract:** In recent years, strawberry industry in our country has developed very fast. Dandong 99 Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.), as the main strawberry variety in Liaoning Province, has high edible value and economic value. In order to understand the soil nutrient status and its influence on strawberry fruit quality in Liaoning Province, and explore the key soil factors affecting strawberry fruit quality, strawberry fruits and surface soil (0-20 cm) were collected from 40 strawberry farms in Dandong, Benxi and Shenyang, and the fruit quality indexes and soil physicochemical properties indexes were detected. The quality of strawberry fruit was evaluated by principal component analysis, and the comprehensive ranking was conducted by principal component score. The correlation between strawberry fruit nutrients and soil nutrients was explored

收稿日期: 2024-01-10

基金项目: 中国地质调查局东北地质科技创新中心区创基金项目(4-10); 省级大学生创新创业训练计划项目(S202311035107); 国家自然科学基金项目(41871087)

第一作者: 侯永侠(1975-), 女, 博士, 教授, 从事环境生态研究, E-mail: houyongxia@126.com

通信作者: 魏建兵(1972-), 男, 博士, 教授, 从事环境生态研究, E-mail: oliver1208@sina.com

by correlation analysis. The results showed that there was wide variation in fruit traits among individuals, with the coefficient of variation ranging from 4.67% to 56.02%, and the coefficient of variation of fructose was maximum. By principal component analysis, 3 principal components were extracted, and the cumulative contribution rate was 60.25%. Twenty strawberry farms with higher comprehensive scores were selected. Generally, the soils of 40 strawberry farms were slightly acidic, with excess contents of Alkaline-N and Olsen-P, suitable contents of Organic matter, Available-K. The soil indexes for improving strawberry flavor were Alkaline-N, Olsen-P, Available-K and Available B. The soil indexes for improving appearance quality of strawberries were Organic matter, Exchangeable calcium and Exchangeable magnesium.

**Key words:** strawberry; fruit quality; soil quality; correlation analysis

近年来我国草莓产业发展十分迅速,草莓种植主要分布在山东、辽宁、河北、浙江等省<sup>[1]</sup>。辽宁省是我国第三大草莓生产地区,省内的丹东地区草莓生产面积占全省草莓生产面积的80%以上。辽宁丹东地区有丰富的水资源,气候湿润,光照充足,适合草莓生长,是东北地区主要的优质草莓生产基地<sup>[2]</sup>。红颜草莓是丹东地区种植较多的草莓品种,在草莓的口感、大小、颜色等方面颇受人们喜爱<sup>[3]</sup>。土壤是植物从外界吸收营养元素的主要来源,土壤不同的营养状况对草莓植株的生理状况和果实品质指标均有不同的影响<sup>[4]</sup>。探讨草莓园土壤营养与果实品质间的关系对指导草莓园合理施肥、提高果实品质、保持草莓园可持续生产等具有重要理论意义和实际应用价值。

土壤中有有机质、氮、磷、钾以及微量元素等营养元素对草莓品质(可溶性固形物、可溶性糖、固酸比等)形成具有至关重要的作用<sup>[4-8]</sup>。氮、磷和钾是植物三大营养元素。氮素是园艺作物生长和发育必需的重要元素之一,适量氮肥施入可有效提升草莓产量,改善草莓品质<sup>[9]</sup>。磷素对根系的生长发育、植株生长发育和花芽分化都有较好的促进作用,适当的增施磷肥可以增加植株的产量、改善果实的品质<sup>[10]</sup>。钾素不仅对作物高产稳产起保障作用,而且是重要的品质元素,能够改善作物品质。缺钾时柑橘果实产量和品质均明显下降,果实糖含量降低,酸含量升高<sup>[11]</sup>。草莓需钙较多,主要吸收钙离子。钙在植物体中的移动性较小,主要集中在较老的组织中,很少向幼嫩器官运送,因此,草莓极易出现叶尖缺钙症状<sup>[12]</sup>。于果实生长期补施钙肥能提高草莓果实硬度和可溶性固形物含量<sup>[13]</sup>。硼不仅能促进植物根系生长,而且参与植物的光合作用,对受精过程的正常进行也有特殊作用<sup>[14]</sup>。缺硼将导致草莓雌蕊退化和花器官枯死,甚至花而不果;缺硼还会影响花托膨大期碳水化合物的运输和积累,使草莓鲜果糖分下降,畸形果率增加<sup>[15]</sup>。镁作为植物生长发育的必需元素之一,对草莓幼苗的形态发育与生理生化有着重要影响,进而影响草莓果实产量和品质<sup>[16]</sup>。缺镁导致草莓生物量降低,生物酶活性减弱,引起细胞膜伤害,降低活性氧清除能力。

以往研究大多只考察个别土壤养分含量对作物产量和某几个特定的品质指标的影响,并没有综合考察土壤质量对作物果实品质的整体影响。本研究对丹东、本溪和沈阳地区40个草莓园的10种土壤营养成分指标和草莓果实的12个品质指标进行调查,分析草莓园土壤理化性质、主要营养元素及微量元素含量特征,并对不同草莓园草莓果实品质进行主成分分析,以及土壤因子与草莓品质的相关性分析,旨在了解草莓园土壤营养状况及对草莓果实品质的影响,确定影响果实品质的关键土壤因子,为草莓园合理施肥、提高果实品质提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

2023年4-5月,依据辽宁省草莓园的分布格局和生产规模,选取了有代表性的40个草莓园作为研究对象,草莓园土壤类型均为棕壤。供试土壤样品和红颜草莓(*Fragaria × ananassa* Duch.)果实样品分别取自辽宁省丹东市(30个草莓园,代号1~30)、本溪市(3个草莓园,代号31~33)和沈阳市(7个草莓园,代号34~40)的共40个草莓园。采集样品时按对角线采集土壤样品,在每个采样草莓园定点选择5个采样点,采集0~20 cm土层土壤,将采集的同一个草莓园的土壤样品混合均匀封装于同一个自封袋内并编号。将土样带回实验室,风干、过2 mm筛备用。果实样品与土壤采集点位对应,每棚采集约500 g果实(20~40个果实)。样品做好标记,清理表面杂物,擦干水分,-80 °C冷冻保存。

## 1.2 方法

1.2.1 草莓果实品质测定 用游标卡尺测量果实横纵径,计算果型指数;单果重使用电子天平测定;可溶性固形物含量测定用手持折光仪;总酸度测定采用酸碱滴定法;维生素C含量测定采用2,6-二氯酚氧化滴定法;可溶性糖含量测定采用蒽酮-比色法;葡萄糖含量测定采用酶法;蔗糖和果糖含量测定采用间苯二酚比色法;总酚含量测定采用福林酚法;计算甜酸比<sup>[17]</sup>。

1.2.2 土壤样品养分测定 参照土壤农化分析方法测定土壤容重、饱和含水率<sup>[18]</sup>;采用pH计测定pH值;采用重铬酸钾-外加热法测定有机质;采用钼锑抗比色法测定速效磷含量;采用火焰光度法测定速效钾含量;采用甲亚胺比色法测定有效硼含量;采用EDTA滴定法测定交换性钙、交换性镁含量;采用凯氏定氮法测定碱解氮含量<sup>[19]</sup>。

## 1.3 数据分析方法

试验数据采用Excel 2019软件进行数据整理和图表绘制,使用SPSS 26.0软件进行差异显著性分析( $p < 0.05$ )及主成分分析,使用Origin 2022软件进行相关性分析和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同草莓园的草莓果实品质对比

2.1.1 果实外观性状 由图1可知,不同草莓园的草莓果实单果重为13.72~44.63 g,其中1号草莓园的草莓果实单果重最大;不同草莓园的草莓果实果型指数为1.20~1.49,大部分草莓园草莓果型呈圆锥形,3,17,32,38,40号草莓园果实呈长圆锥形,2,9,19,29,33,35,39号草莓园果实呈短圆锥形。

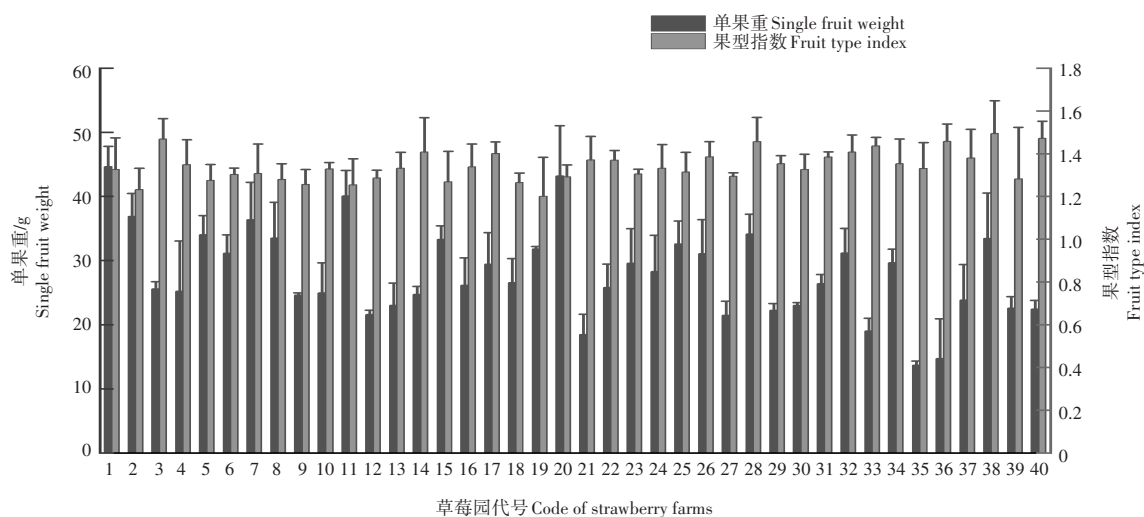


图1 不同草莓园的草莓果实单果重和果型指数

Figure 1 Single fruit weight of strawberry fruits in different strawberry farms and fruit type index

2.1.2 果实糖组分含量 除32号和40号草莓园外,不同草莓园草莓果实糖含量均表现为蔗糖含量大于葡萄糖含量和果糖含量,草莓果实蔗糖含量在0.98%~4.75%,且12号草莓园草莓果实蔗糖含量最高。32号和40号草莓园草莓果实葡萄糖含量最高,草莓园间草莓果实果糖含量的范围为0.07%~2.14%,最高值为最低值的31倍,差异显著。40个草莓园中12号草莓园草莓果实的总甜度显著高于其他果园,为9.54(图2)。

2.1.3 果实营养成分 由表1可知,33号草莓园可溶性糖含量最高,为8.93%;草莓园间草莓果实总酸度为0.58%~0.92%;草莓果实甜酸比在很大程度上会影响果实风味,可以看出18号草莓园草莓果实甜酸比最高,为13.15,而30号草莓园草莓果实甜酸比仅为3.7;1号草莓园草莓果实可溶性固形物含量最高,为11.27%。草莓果实营养品质不仅由糖、酸的含量决定,抗氧化物质含量也是重要指标,1号草莓园草莓果实维生素C含量最高,为66.6 mg·100g<sup>-1</sup>;35号草莓园草莓果实总酚含量最高,为2.55 mg·g<sup>-1</sup>。

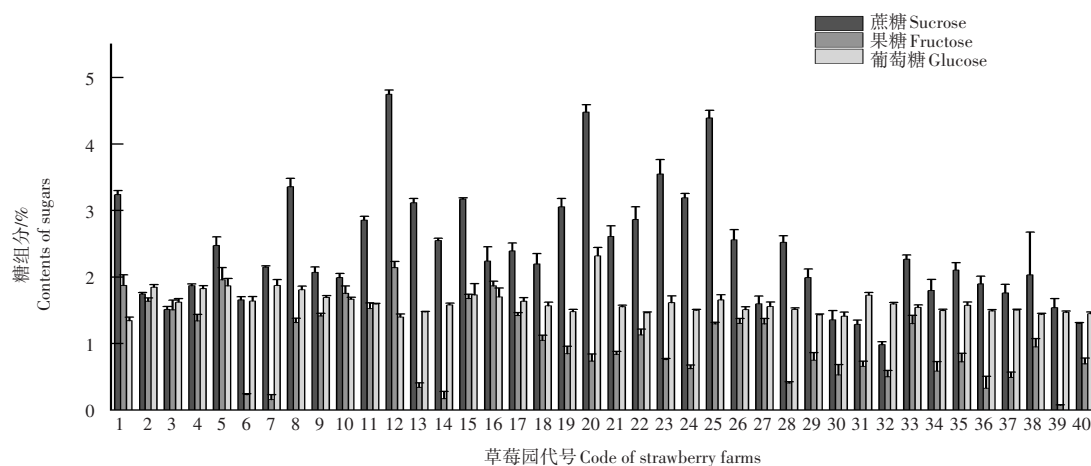


图2 不同草莓园的草莓果实糖组分含量

Figure 2 Contents of sugars in strawberry fruits of different strawberry farms

表1 不同草莓园的草莓果实营养成分状况

Table 1 Nutrient content status of strawberry fruits in different strawberry farms

草莓园代号 Code of strawberry farms	可溶性糖/% Soluble sugar	总酸度/% Total acidity	甜酸比 Sweet/Acid	维生素C/(mg·100g <sup>-1</sup> ) Vitamin C	可溶性固形物/% Soluble solids content	总酚/(mg·g <sup>-1</sup> ) Total phenols
1	8.08±0.34 <sup>de</sup>	0.70±0.04 <sup>ml</sup>	10.71	66.60±0.85 <sup>a</sup>	11.27±0.12 <sup>b</sup>	2.13±0.02 <sup>r</sup>
2	7.74±0.46 <sup>ed</sup>	0.65±0.00 <sup>n</sup>	9.19	54.06±0.76 <sup>fed</sup>	9.30±0.10 <sup>nmil</sup>	2.25±0.01 <sup>ml</sup>
3	5.69±0.34 <sup>lkji</sup>	0.84±0.02 <sup>ef</sup>	6.42	48.60±0.85 <sup>nmik</sup>	9.53±0.06 <sup>kji</sup>	2.31±0.00 <sup>i</sup>
4	4.10±0.17 <sup>o</sup>	0.71±0.00 <sup>mlk</sup>	7.85	55.26±0.93 <sup>d</sup>	10.30±0.10 <sup>ed</sup>	2.13±0.00 <sup>r</sup>
5	6.24±0.06 <sup>ihg</sup>	0.70±0.00 <sup>m</sup>	10.44	52.80±1.02 <sup>hgf</sup>	10.23±0.15 <sup>ed</sup>	2.35±0.02 <sup>h</sup>
6	6.08±0.33 <sup>ijhg</sup>	0.82±0.01 <sup>hg</sup>	4.01	42.60±0.85 <sup>s</sup>	9.70±0.10 <sup>ih</sup>	2.38±0.01 <sup>fe</sup>
7	5.89±0.21 <sup>kjih</sup>	0.70±0.00 <sup>m</sup>	5.47	48.18±0.25 <sup>nmil</sup>	9.10±0.10 <sup>pon</sup>	2.38±0.03 <sup>f</sup>
8	6.29±0.27 <sup>hg</sup>	0.76±0.00 <sup>j</sup>	9.29	46.20±0.85 <sup>po</sup>	9.13±0.12 <sup>omm</sup>	2.26±0.01 <sup>l</sup>
9	6.48±0.32 <sup>g</sup>	0.83±0.00 <sup>g</sup>	7.03	55.20±0.00 <sup>d</sup>	10.17±0.23 <sup>fe</sup>	2.39±0.01 <sup>ed</sup>
10	4.54±0.26 <sup>o</sup>	0.75±0.00 <sup>j</sup>	8.41	47.88±0.17 <sup>nm</sup>	8.30±0.20 <sup>is</sup>	2.28±0.01 <sup>j</sup>
11	8.30±0.31 <sup>eb</sup>	0.84±0.01 <sup>efc</sup>	7.96	49.74±0.93 <sup>lkj</sup>	10.00±0.00 <sup>gf</sup>	2.38±0.01 <sup>f</sup>
12	6.14±0.30 <sup>ijhg</sup>	0.89±0.00 <sup>cb</sup>	10.68	53.46±0.59 <sup>gfc</sup>	8.93±0.15 <sup>qpo</sup>	2.28±0.01 <sup>kj</sup>
13	5.96±0.21 <sup>kjihg</sup>	0.88±0.00 <sup>deb</sup>	5.47	57.66±0.93 <sup>c</sup>	9.73±0.06 <sup>ih</sup>	2.26±0.01 <sup>lk</sup>
14	5.06±0.37 <sup>n</sup>	0.73±0.00 <sup>lkj</sup>	5.52	48.60±0.85 <sup>nmik</sup>	9.27±0.15 <sup>nmil</sup>	2.19±0.01 <sup>qpo</sup>
15	6.18±0.14 <sup>ihg</sup>	0.89±0.01 <sup>deb</sup>	8.35	47.94±0.59 <sup>nm</sup>	14.23±0.21 <sup>a</sup>	2.18±0.01 <sup>qp</sup>
16	5.13±0.19 <sup>nm</sup>	0.79±0.01 <sup>i</sup>	8.60	51.60±0.85 <sup>ih</sup>	9.57±0.06 <sup>ji</sup>	2.24±0.00 <sup>nmil</sup>
17	5.58±0.46 <sup>nmikj</sup>	0.76±0.01 <sup>j</sup>	8.06	49.20±0.34 <sup>mlk</sup>	8.83±0.15 <sup>q</sup>	2.17±0.02 <sup>q</sup>
18	8.75±0.49 <sup>ba</sup>	0.67±0.00 <sup>bn</sup>	7.82	44.94±0.59 <sup>qp</sup>	9.27±0.12 <sup>nmil</sup>	2.19±0.01 <sup>qpo</sup>
19	7.39±0.36 <sup>fc</sup>	0.82±0.00 <sup>hg</sup>	6.91	51.66±1.10 <sup>ih</sup>	10.40±0.00 <sup>d</sup>	2.09±0.01 <sup>t</sup>
20	6.52±0.04 <sup>g</sup>	0.86±0.05 <sup>fed</sup>	8.70	44.40±0.34 <sup>rq</sup>	10.70±0.00 <sup>c</sup>	2.23±0.01 <sup>n</sup>
21	7.17±0.36 <sup>f</sup>	0.66±0.01 <sup>n</sup>	7.96	47.40±0.68 <sup>on</sup>	9.33±0.12 <sup>mlk</sup>	2.20±0.01 <sup>o</sup>
22	5.67±0.08 <sup>mlkji</sup>	0.62±0.01 <sup>po</sup>	9.50	44.40±0.51 <sup>rq</sup>	8.33±0.06 <sup>sr</sup>	2.24±0.01 <sup>nm</sup>
23	6.10±0.06 <sup>ijhg</sup>	0.92±0.00 <sup>a</sup>	6.60	50.76±0.68 <sup>ij</sup>	8.20±0.00 <sup>l</sup>	2.30±0.01 <sup>i</sup>
24	7.71±0.46 <sup>ed</sup>	0.83±0.01 <sup>g</sup>	6.54	49.20±0.68 <sup>mlk</sup>	10.00±0.17 <sup>gf</sup>	2.34±0.03 <sup>h</sup>
25	5.86±0.49 <sup>kjih</sup>	0.84±0.01 <sup>ef</sup>	9.44	47.40±0.85 <sup>on</sup>	10.00±0.10 <sup>gf</sup>	2.26±0.02 <sup>lk</sup>
26	6.19±0.45 <sup>ihg</sup>	0.89±0.02 <sup>deb</sup>	6.74	45.00±0.17 <sup>qp</sup>	8.83±0.06 <sup>q</sup>	2.30±0.01 <sup>i</sup>
27	4.31±0.15 <sup>o</sup>	0.65±0.02 <sup>on</sup>	7.76	43.38±0.08 <sup>sr</sup>	6.70±0.20 <sup>v</sup>	2.24±0.02 <sup>nm</sup>
28	8.19±0.40 <sup>de</sup>	0.73±0.00 <sup>lkj</sup>	5.98	59.22±0.42 <sup>b</sup>	9.80±0.00 <sup>hg</sup>	2.25±0.01 <sup>ml</sup>
29	5.94±0.07 <sup>kjihg</sup>	0.88±0.00 <sup>deb</sup>	4.98	41.94±0.08 <sup>s</sup>	9.40±0.00 <sup>lkj</sup>	2.34±0.01 <sup>h</sup>
30	5.24±0.17 <sup>nmil</sup>	0.90±0.01 <sup>ba</sup>	3.70	45.66±1.10 <sup>qp</sup>	8.47±0.06 <sup>sr</sup>	2.40±0.02 <sup>d</sup>
31	6.17±0.31 <sup>ihg</sup>	0.70±0.01 <sup>ml</sup>	5.30	43.02±0.42 <sup>s</sup>	6.80±0.20 <sup>v</sup>	2.35±0.00 <sup>hg</sup>
32	4.22±0.23 <sup>o</sup>	0.73±0.00 <sup>kj</sup>	4.15	48.60±0.68 <sup>nmik</sup>	8.90±0.10 <sup>qp</sup>	2.20±0.03 <sup>po</sup>
33	8.93±0.22 <sup>a</sup>	0.87±0.00 <sup>deb</sup>	6.53	54.60±0.68 <sup>ed</sup>	9.27±0.12 <sup>nmil</sup>	2.36±0.02 <sup>gf</sup>
34	5.16±0.41 <sup>nmil</sup>	0.80±0.01 <sup>ih</sup>	4.95	47.34±0.59 <sup>on</sup>	9.80±0.20 <sup>hg</sup>	2.43±0.03 <sup>c</sup>
35	6.32±0.08 <sup>hg</sup>	0.58±0.01 <sup>q</sup>	7.87	49.86±0.76 <sup>kj</sup>	9.00±0.00 <sup>qpo</sup>	2.55±0.03 <sup>a</sup>
36	5.41±0.28 <sup>nmik</sup>	0.87±0.00 <sup>ede</sup>	4.13	47.94±0.08 <sup>nm</sup>	8.23±0.06 <sup>l</sup>	2.52±0.02 <sup>b</sup>
37	5.12±0.17 <sup>nm</sup>	0.72±0.00 <sup>mlk</sup>	5.20	48.66±0.59 <sup>nmik</sup>	7.73±0.06 <sup>q</sup>	2.44±0.01 <sup>c</sup>
38	5.87±0.26 <sup>kjih</sup>	0.72±0.00 <sup>mlk</sup>	6.63	52.08±0.85 <sup>ihg</sup>	9.90±0.10 <sup>hg</sup>	2.37±0.01 <sup>f</sup>
39	6.38±0.23 <sup>hg</sup>	0.82±0.00 <sup>hg</sup>	3.36	48.66±0.76 <sup>nmik</sup>	8.53±0.06 <sup>r</sup>	2.11±0.03 <sup>s</sup>
40	4.52±0.19 <sup>o</sup>	0.61±0.00 <sup>p</sup>	5.85	37.98±0.76 <sup>l</sup>	6.83±0.06 <sup>v</sup>	2.40±0.01 <sup>d</sup>

注: 同列不同小写字母表示差异显著(p<0.05), 下同。

Note: Different small letters in the same line indicates significant difference at p<0.05, the same below.

## 2.2 草莓果实品质性状的主成分分析

主成分分析结果表明(表2),前3个主成分的特征值大于1,累计贡献率达到60.251%,数据具有可信度,包含了10个品质指标的大部分信息,因此可以选择3个主成分要素指标作为草莓果实品质综合评价的指标。其初始因子载荷矩阵见表3。以前3个主成分和每个主成分所对应的特征值占总特征值的比例为权重得到主成分表达式  $Y=33.909Y_1+14.196Y_2+12.145Y_3$ ,计算综合得分,草莓果实性状指标主成分得分前21的样本见表4。筛选出20个综合得分较高的草莓园,综合得分最高的为15号草莓园,其次为20号和11号草莓园。8号草莓园综合得分低于1,表明该草莓园果实综合品质较差。

表2 主成分特征值

Table 2 Characteristic values of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
1	3.391	33.909	33.909
2	1.420	14.196	48.105
3	1.215	12.145	60.251

表3 主成分初始因子载荷矩阵

Table 3 Principal component initial factor loading matrix

主成分 Principal component	1	2	3
X <sub>1</sub> 单果重 Single fruit weight	0.204	-0.139	0.068
X <sub>2</sub> 果型指数 Fruit type index	-0.175	0.161	-0.185
X <sub>3</sub> 可溶性糖 Soluble sugar	0.157	0.274	-0.187
X <sub>4</sub> 总酸度 Total acidity	0.061	0.417	0.592
X <sub>5</sub> 蔗糖 Sucrose	0.217	0.085	0.136
X <sub>6</sub> 葡萄糖 Glucose	0.115	-0.465	0.312
X <sub>7</sub> 甜酸比 Sweet/acid ratio	0.202	-0.226	-0.289
X <sub>8</sub> 维生素C Vitamin C	0.152	0.315	-0.394
X <sub>9</sub> 可溶性固形物 Soluble solids content	0.217	0.163	0.119
X <sub>10</sub> 总酚 Total phenols	-0.150	0.097	0.174

## 2.3 不同草莓园的土壤理化性质及养分元素含量

2.3.1 土壤理化性质 由表5可知,10号草莓园土壤容重最大,为 $1.69 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ;38号和5号草莓园土壤容重较小。土壤的饱和含水率是土壤水分状况的重要指标之一,对于土壤的保水性和排水性具有重要影响,35号草莓园饱和含水率最大,为77%;40个草莓园土壤pH值为5.38~7.37,草莓园土壤整体偏酸性;有机质是土壤养分的重要来源,38号草莓园的土壤有机质含量最高,为5.11%,10号草莓园土壤有机质含量仅为0.90%。

2.3.2 不同草莓园的土壤氮、磷、钾含量 氮素是保证植物正常生长的必需营养元素之一,也是制约土壤肥力的主要因素。3号草莓园的碱解氮含量最高,为 $983.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,27号草莓园碱解氮含量最低,两者相差十余倍;钾素作为植物所必需的大量矿质营养元素之一,在影响果实品质等方面发挥着重要作用,草莓园土壤速效钾的含量范围为 $180.69 \sim 388.55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;35号草莓园土壤速效磷含量最多,为 $196.22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,40号最少,为 $31.64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图3)。

2.3.3 不同草莓园的土壤微量元素含量 40个草莓园土壤有效硼含量范围为 $0.13 \sim 5.55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,36号草莓园土壤有效硼含量最高;钙和镁是植物生长必需的营养元素,各草莓园土壤交换性钙和交换性镁含量在 $0.74 \sim 7.54 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.51 \sim 4.39 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,且28号草莓园的土壤交换性钙含量最高,3号草莓园的土壤交换性镁含量最高(图4和图5)。

表4 草莓品质主成分因子得分

Table 4 Principal component factor scores of strawberry quality

草莓园代号 Code of strawberry farms	主成分得分 Principal component score			综合得分 Y Overall score	排序 Sort
	Y1	Y2	Y3		
15	0.98	0.23	1.35	53.05	1
20	1.27	-1.65	2.32	47.83	2
11	0.86	0.44	0.50	41.53	3
23	0.62	0.53	1.01	40.64	4
12	0.76	0.90	-0.08	37.66	5
33	0.41	1.72	-0.46	32.85	6
13	0.32	1.37	0.09	31.53	7
25	0.74	-0.18	0.72	31.29	8
24	0.41	0.91	0.26	30.17	9
26	0.31	0.45	0.77	26.39	10
29	-0.07	0.69	1.13	21.24	11
19	0.41	0.48	-0.03	20.54	12
30	-0.21	0.84	1.21	19.52	13
9	0.25	0.40	0.31	17.99	14
6	-0.07	-0.04	1.41	14.20	15
36	-0.32	1.14	0.73	14.07	16
1	0.87	1.03	-2.65	11.83	17
34	-0.18	0.35	0.67	6.90	18
3	-0.03	0.38	0.18	6.60	19
28	0.20	1.16	-1.51	4.94	20
8	0.27	-1.04	0.40	-0.94	21

#### 2.4 草莓果实品质与草莓园土壤质量的相关性分析

Pearson 相关性分析结果表明(图 6), 15 对指标的相关性达到显著水平( $p < 0.05$ ), 4 对的相关性达到极显著水平( $p < 0.01$ )。可见不同草莓园土壤理化性质和营养元素含量与果实品质之间存在着不同程度的相关性。相关性呈显著负相关的有 pH 值与甜酸比(-0.324)、速效钾与总酸度(-0.372)。相关性呈显著正相关的有速效钾与甜酸比(0.567)、有机质与可溶性固形物(0.427)、交换性镁与单果重(0.403)等。其中饱和含水率和速效钾与果实品质呈不同程度的正负相关, 表明不同草莓园草莓果实对不同土壤养分的吸收的作用不同。

### 3 讨论与结论

草莓果实的外观品质, 如果实的单果重、大小和果实的颜色等往往是消费者选购与否的重要影响因素。除此之外, 消费者还会在意的是草莓果实的口感风味和营养品质。因此优质草莓果实, 除了应该具有较高的外观品质外, 更要有较好的营养品质。果实中的可溶性糖、总酸度含量以及甜酸比等指标可直接影响草莓果实的酸甜风味, 大量的研究表明, 只有适宜的甜酸比才会产生最佳的口感<sup>[20-22]</sup>。

本研究中不同草莓园的草莓果实蔗糖和果糖含量都存在明显差异, 变异系数超过 30%, 改良潜力较大。单果重、可溶性糖、总酸度和可溶性固形物含量等风味指标的变异系数为 10.3%~28.73%, 说明草莓果实性状多样性丰富。主成分分析获得 3 个主成分因子, 累积方差贡献率 60.25%, 反映了草莓果实品质的主要信息。通过综合得分排名筛选出 20 个草莓果实品质较优的草莓园。本研究的草莓果实品质综合评价公式中, 影响草莓果实综合得分的关键指标为单果重、可溶性固形物、甜酸比、可溶性糖等, 因此在评价草莓果实品质与土壤质量的相关性研究中, 为了简便快捷地评价果实, 从中选择部分指标进行分析。

土壤营养元素是影响植物生长发育的重要因素<sup>[23]</sup>, 养分的丰缺直接影响到草莓的品质, 植株主要

表5 草莓园土壤理化性质

Table 5 Soil physicochemical properties in strawberry farms

草莓园代号 Code of strawberry farms	容重/(g·cm <sup>-3</sup> ) Bulk density	饱和含水率/% Saturated water content	pH	有机质/% Organic matter
1	1.12±0.01 <sup>s</sup>	46.07±1.01 <sup>lk</sup>	6.84±0.10 <sup>deb</sup>	3.38±0.09 <sup>d</sup>
2	1.45±0.01 <sup>edc</sup>	37.49±1.11 <sup>on</sup>	6.53±0.05 <sup>hgfe</sup>	2.24±0.06 <sup>ih</sup>
3	1.29±0.03 <sup>omm</sup>	46.72±1.02 <sup>lkj</sup>	6.20±0.07 <sup>mlkji</sup>	2.82±0.14 <sup>e</sup>
4	1.45±0.00 <sup>fede</sup>	55.09±1.31 <sup>e</sup>	6.23±0.04 <sup>mlkji</sup>	4.08±0.14 <sup>h</sup>
5	1.06±0.06 <sup>i</sup>	62.37±2.25 <sup>deb</sup>	6.37±0.20 <sup>kjihgf</sup>	4.89±0.09 <sup>a</sup>
6	1.20±0.05 <sup>f</sup>	64.36±1.62 <sup>b</sup>	6.87±0.03 <sup>cb</sup>	3.80±0.04 <sup>cb</sup>
7	1.49±0.00 <sup>c</sup>	39.20±1.01 <sup>nm</sup>	5.70±0.08 <sup>on</sup>	2.92±0.09 <sup>e</sup>
8	1.61±0.02 <sup>b</sup>	37.35±1.15 <sup>on</sup>	5.70±0.06 <sup>on</sup>	1.65±0.03 <sup>mlk</sup>
9	1.57±0.01 <sup>b</sup>	40.81±1.00 <sup>m</sup>	5.93±0.05 <sup>nm</sup>	1.16±0.02 <sup>po</sup>
10	1.69±0.01 <sup>a</sup>	39.97±1.43 <sup>m</sup>	6.30±0.10 <sup>kjihg</sup>	0.90±0.04 <sup>p</sup>
11	1.25±0.03 <sup>qpo</sup>	52.66±2.02 <sup>f</sup>	5.85±0.07 <sup>n</sup>	3.50±0.12 <sup>dc</sup>
12	1.40±0.04 <sup>ihgfe</sup>	36.41±1.14 <sup>o</sup>	5.49±0.03 <sup>po</sup>	2.23±0.05 <sup>ih</sup>
13	1.31±0.01 <sup>nml</sup>	45.99±1.68 <sup>k</sup>	5.77±0.08 <sup>on</sup>	2.39±0.12 <sup>hgf</sup>
14	1.25±0.00 <sup>qpo</sup>	47.17±2.04 <sup>ljk</sup>	5.38±0.08 <sup>p</sup>	2.68±0.03 <sup>gfe</sup>
15	1.28±0.05 <sup>qpon</sup>	40.30±1.70 <sup>m</sup>	6.47±0.01 <sup>ihgfe</sup>	3.51±0.67 <sup>dc</sup>
16	1.26±0.00 <sup>qpon</sup>	46.95±1.01 <sup>lkj</sup>	6.14±0.07 <sup>mlk</sup>	2.09±0.04 <sup>jih</sup>
17	1.28±0.01 <sup>qpon</sup>	60.22±1.89 <sup>d</sup>	5.81±0.07 <sup>n</sup>	2.94±0.07 <sup>e</sup>
18	1.47±0.01 <sup>dc</sup>	37.41±1.31 <sup>on</sup>	5.52±0.68 <sup>po</sup>	1.11±0.04 <sup>po</sup>
19	1.43±0.01 <sup>hgfed</sup>	35.00±0.81 <sup>o</sup>	6.22±0.03 <sup>mlkji</sup>	1.77±0.04 <sup>lkj</sup>
20	1.35±0.00 <sup>lkj</sup>	46.95±1.71 <sup>lkj</sup>	6.24±0.01 <sup>lkjih</sup>	2.16±0.04 <sup>ih</sup>
21	1.29±0.02 <sup>omm</sup>	60.99±2.01 <sup>dc</sup>	6.35±0.04 <sup>kjihgf</sup>	1.91±0.03 <sup>kji</sup>
22	1.70±0.01 <sup>a</sup>	45.01±1.16 <sup>l</sup>	6.18±0.06 <sup>mlkj</sup>	1.26±0.01 <sup>on</sup>
23	1.39±0.03 <sup>kjihg</sup>	52.23±2.03 <sup>gf</sup>	7.37±0.08 <sup>a</sup>	1.28±0.01 <sup>on</sup>
24	1.30±0.01 <sup>omm</sup>	46.94±1.62 <sup>lkj</sup>	6.47±0.07 <sup>ihgfe</sup>	1.20±0.04 <sup>po</sup>
25	1.38±0.02 <sup>kjih</sup>	47.92±1.81 <sup>kji</sup>	6.57±0.04 <sup>gfed</sup>	1.56±0.04 <sup>nml</sup>
26	1.36±0.00 <sup>lkji</sup>	49.15±0.88 <sup>jih</sup>	6.43±0.08 <sup>kjihgf</sup>	2.32±0.01 <sup>h</sup>
27	1.23±0.01 <sup>qi</sup>	64.20±2.02 <sup>b</sup>	5.93±0.01 <sup>nm</sup>	1.34±0.05 <sup>omm</sup>
28	1.44±0.01 <sup>gfede</sup>	60.59±2.27 <sup>dc</sup>	6.18±0.04 <sup>mlkj</sup>	2.23±0.04 <sup>ih</sup>
29	1.36±0.01 <sup>lkji</sup>	47.72±1.61 <sup>kji</sup>	6.74±0.05 <sup>edcb</sup>	1.44±0.04 <sup>omml</sup>
30	1.35±0.03 <sup>lkj</sup>	50.82±1.19 <sup>hgfe</sup>	6.17±0.04 <sup>mlkj</sup>	1.27±0.04 <sup>on</sup>
31	1.28±0.02 <sup>pon</sup>	62.60±0.94 <sup>cb</sup>	6.93±0.01 <sup>b</sup>	1.71±0.17 <sup>lk</sup>
32	1.34±0.00 <sup>mlk</sup>	40.07±1.00 <sup>m</sup>	6.96±0.04 <sup>b</sup>	1.63±0.04 <sup>mlk</sup>
33	1.4±0.00 <sup>ihgfe</sup>	47.11±1.42 <sup>lkj</sup>	6.89±0.03 <sup>cb</sup>	2.14±0.00 <sup>ih</sup>
34	1.35±0.06 <sup>lkji</sup>	56.35±0.20 <sup>e</sup>	6.48±0.08 <sup>ihgfe</sup>	3.37±0.13 <sup>d</sup>
35	1.28±0.04 <sup>qpon</sup>	77.04±2.60 <sup>a</sup>	5.95±0.08 <sup>nml</sup>	2.37±0.46 <sup>hg</sup>
36	1.44±0.00 <sup>gfed</sup>	48.19±1.51 <sup>kji</sup>	6.83±0.01 <sup>d<sup>cb</sup></sup>	1.90±0.21 <sup>kji</sup>
37	1.23±0.01 <sup>qip</sup>	53.17±2.02 <sup>f</sup>	6.56±0.08 <sup>gfed</sup>	2.72±0.10 <sup>fe</sup>
38	1.04±0.00 <sup>i</sup>	75.02±1.90 <sup>a</sup>	6.18±0.03 <sup>mlkji</sup>	5.11±0.07 <sup>a</sup>
39	1.38±0.01 <sup>kjih</sup>	57.42±1.08 <sup>e</sup>	7.02±0.05 <sup>b</sup>	2.43±0.09 <sup>hgfe</sup>
40	1.58±0.02 <sup>b</sup>	50.01±1.07 <sup>ihg</sup>	6.61±0.08 <sup>fede</sup>	1.94±0.04 <sup>kji</sup>

依靠根系从土壤中获取养分,因此草莓园土壤理化性质对草莓养分的吸收利用十分重要<sup>[24-25]</sup>。草莓可以在各种土壤中生长,但在疏松、肥沃、透水性和透气性良好的土壤中草莓生产才能获得丰产和优产。研究表明,当土壤pH值为5.5~7.5时,土壤中的营养元素对草莓的生长发育影响很大,缺乏氮、磷、钾及交换性钙、交换性镁、有效硼等都能影响草莓的生长、发育<sup>[26]</sup>。土壤要保持较好的通透性,有机质的含量也要达到一定的标准,还要具有较强的保水和保肥能力,研究区土壤多为微酸性土壤,土壤饱和含水率偏高,有利于草莓根系吸收利用养分,土壤有机质含量大多处于中等或丰富范围;供试草莓园土壤碱解氮含量大多能达到 I 级标准;速效磷含量丰富,绝大多数草莓园能达到 I 级标准;速效钾含

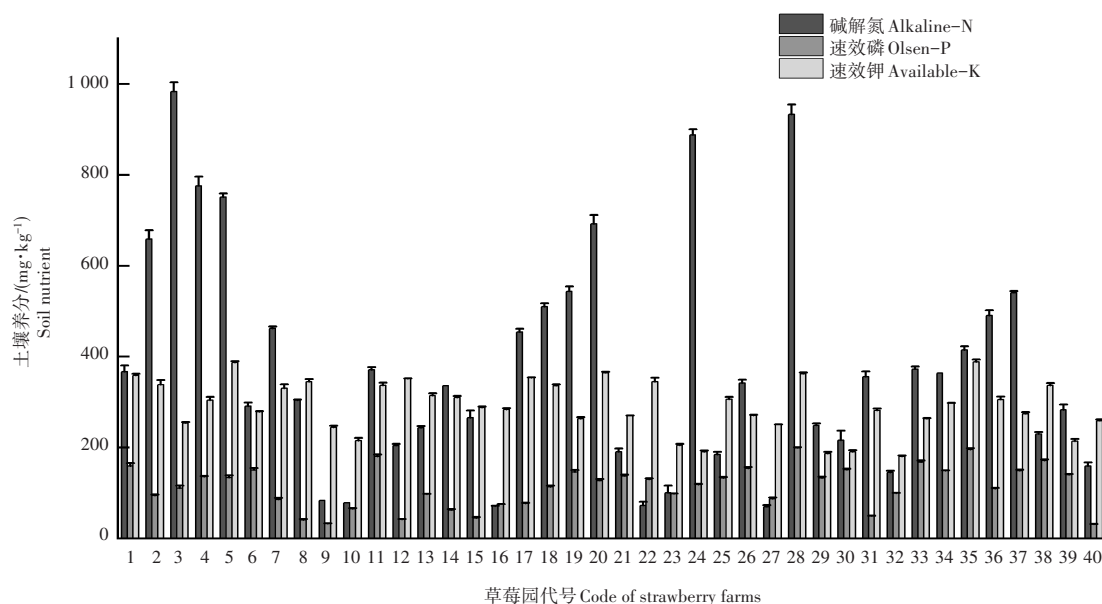


图3 不同草莓园的土壤养分含量  
Figure 3 Soil nutrient content in strawberry orchards

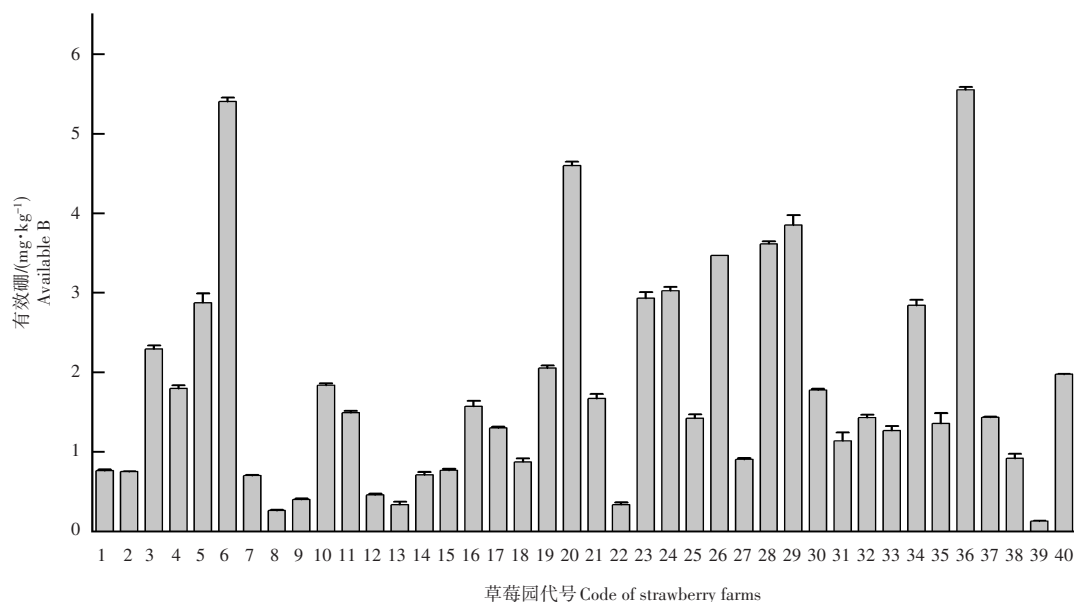


图4 草莓园土壤有效硼含量  
Figure 4 Available boron content in strawberry orchard soil

量较为丰富,大多数草莓园可达到 I 级标准;有效硼、交换性钙和交换性镁含量分化明显。

总体而言,草莓园土壤速效钾越高,草莓果实总酸度越低,蔗糖含量、甜酸比越高,果实品质越好,速效钾含量还显著影响草莓果实单果重和维生素 C 含量,这与草莓园土壤速效钾含量总体较丰富的情况有关。但有研究表明对于甜酸比的影响而言,氮肥>磷肥>钾肥<sup>[27]</sup>,这与草莓园土壤速效磷和碱解氮普遍偏高的情况有关,土壤速效磷和碱解氮越高,果实可溶性糖含量越高也与此相关,这与前人研究一致<sup>[28]</sup>。土壤有效硼含量越高,草莓果实总酸度和总酚越高,影响草莓果实风味和抗氧化功能<sup>[29]</sup>。土壤有机质含量和交换性钙、交换性镁含量与草莓果实单果重、可溶性固形物等指标均呈显著正相关,这与多数草莓园土壤有机质和交换性钙、镁含量分化明显的情况有关,与前人研究结果一致<sup>[30-33]</sup>。由此可知,在草莓生产上部分草莓园应增施磷肥和钾肥,适当控制硼肥,能有效提升果实风味;膨果期

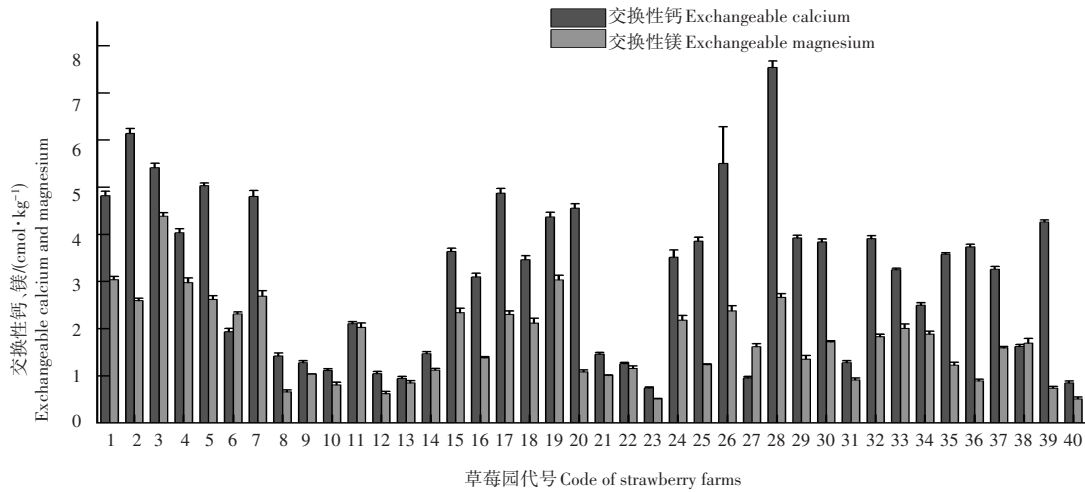
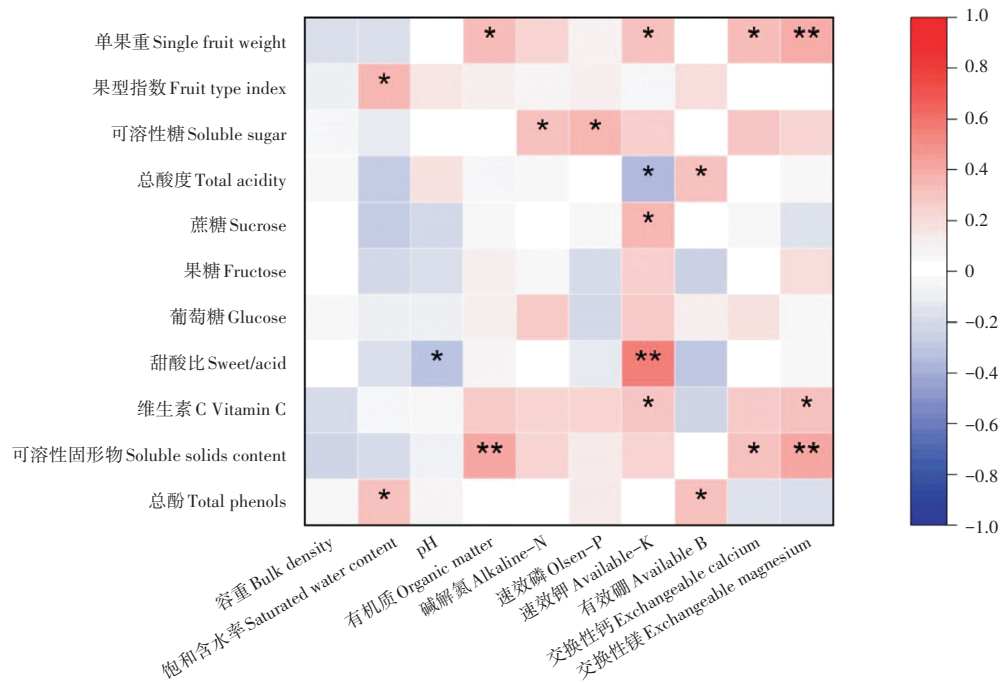


图5 草莓园土壤交换性钙、镁含量

Figure 5 Exchangeable calcium and magnesium content in strawberry orchard soil



\* 表示显著相关( $p < 0.05$ ); \*\* 表示极显著相关( $p < 0.01$ )

\* indicated a significant correlation ( $p < 0.05$ ); \*\* indicated a extremely significant correlation ( $p < 0.01$ )

图6 草莓果实品质与土壤质量相关性热图

Figure 6 Heat map of the correlation between strawberry fruit quality and soil quality

增施钙肥、镁肥和有机肥,能有效提高草莓果实外观品质。

综上所述,不同草莓园的草莓果实可溶性固形物、维生素C、可溶性糖和总酸度等品质指标存在差异,主成分分析获得影响草莓果实综合得分的关键指标,根据综合得分筛选出15号草莓园草莓果实得分最高。40个草莓园总体土壤呈微酸性,土壤碱解氮和速效磷含量过高,有机质、速效钾含量适宜。草莓园利于提高草莓风味的土壤指标为碱解氮、速效磷、速效钾、有效硼;有利于提高草莓外观品质的土壤指标为有机质、交换性钙和交换性镁。

参考文献:

[1] 王鸣谦,薛莉,赵珺,等.世界草莓生产及贸易现状[J].中国果树,2021(2):104-108.  
 [2] 胡莹莹.丹东草莓[J].新农业,2021(2):5.

- [3] 段金辰. 九九草莓质量安全评价及其影响因素研究——基于合作社服务视角[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2020.
- [4] 刘凯丽,郑洪健,徐晓东,等. 肥料配施对草莓生长、果实品质及根际微生物群落的影响[J]. 分子植物育种,2023(11): 1-16.
- [5] 唐志敏,徐 严,骆夏辉,等. 不同用量氰氨化钙对草莓根际微生物及品质的影响[J]. 北方园艺,2019(7):33-37.
- [6] 张馨宇,周子迪,李晓明,等. 不同浓度钾处理对艳丽草莓生长和果实品质的影响[J]. 中国果树,2022(4):29-33.
- [7] NAZARIDELJOU M J,HAGHSHENAS M,JABERIAN H HAMEDAN H,et al.Growth,yield and antioxidant capacity of strawberry under various  $K^+ : Ca^{++}$  ratios in hydroponic culture[J].Acta Agriculturae Scandinavica,Section B: Soil & Plant Science,2019,69(2):105-113.
- [8] LEE Y H,YOON C S,PARK N I,et al.Influence of various nutrient concentrations on the growth and yield of summer strawberry cultivars cultivated in a hydroponic system[J].Horticulture,Environment,and Biotechnology,2015, 56(4):421-426.
- [9] 钱 玲,任建青,童江云,等. 不同施氮量对草莓生长发育、果实品质及产量的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2020,35(3):530-534.
- [10] 蔡艳华. 氮、磷、钾配比施肥对草莓产量品质形成的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2011.
- [11] 孔佑涵,苑 平,吴娟娟. 柑橘的钾营养研究进展[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2017,40(3):37-41.
- [12] 周 宇,祝 宁,徐 晨,等. 新型钙肥对草莓生长与品质的影响[J]. 中国果菜,2023,43(12):58-61.
- [13] 周晓肖,朱 磊,李伟龙. 外源钙处理对草莓品质的影响[J]. 浙江农业科学,2023,64(6):1556-1559.
- [14] 刘 彬,吴文强,张 蕾,等. 不同硼肥对草莓生长发育·产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学,2017,45(1):41-43.
- [15] 韦海忠,徐杏林,杜梦青. 不同浓度硼素对草莓生长、糖度和贮运性的影响[J]. 浙江农业科学,2010,51(5):964-966.
- [16] 王纪忠,潘国庆,周 青,等. 缺镁胁迫对草莓苗生理特性的影响[J]. 北方园艺,2013(1):8-10.
- [17] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2006.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [19] 郝建军,刘延吉. 植物生理学实验技术[M]. 2版. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2001.
- [20] YU W Z,ZHENG J F,WANG Y L,et al.Adjusting the nutrient solution formula based on growth stages to promote the yield and quality of strawberry in greenhouse[J].International Journal of Agricultural and Biological Engineering,2023,16(2):57-64.
- [21] SIMKOVA K,VEBERIC R,HUDINA M,et al.Variability in ‘capri’ everbearing strawberry quality during a harvest season[J].Foods,2023,12(6):64-79.
- [22] FAN H L,ZHANG Y S,LI J C,et al.Effects of organic fertilizer supply on soil properties,tomato yield,and fruit quality: a global meta-analysis[J].Sustainability,2023,15(3):5399-5417.
- [23] SOUZA L P,LIMA G S,GHEYI H R,et al.Morphophysiology and production of West Indian cherry under salt stress and nitrogen-phosphorus-potassium fertilization[J].Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2023,27:539-549.
- [24] 姜 熠,张文娥,马红叶,等. 废菌渣对比对盆栽草莓幼苗生长及果实品质的影响[J]. 北方园艺,2022(21):23-30.
- [25] JIANG W,ZHANG J,JIA Z H,et al.Physiological and nutrient responses to nitrogen,phosphorus,or potassium deficiency of hydroponically grown strawberry[J].HortScience,2023,58(6):628-634.
- [26] 高新霞,晋莹莹,张妍妍,等. 八硼酸钠对草莓果实品质的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2022,50(3):1-6.
- [27] KHALIL N H,HAMMOODI J K.Effect of nitrogen,potassium and calcium in strawberry fruit quality[J].Journal of Agricultural and Statistical Sciences,2020,3899:1967-1972.
- [28] YANG X Q,DU R C,ZHANG M C,et al.Comprehensive evaluation of the optimal rates of irrigation and potassium application for strawberry[J].International Journal of Agricultural and Biological Engineering,2023,16(2):65-72.
- [29] MOHAMED M H M,PETROPOULOS S A,ALI M M E.The application of nitrogen fertilization and foliar spraying with calcium and boron affects growth aspects,chemical composition,productivity and fruit quality of strawberry plants[J].Horticulturae,2021,7(8):53-72.
- [30] 范安琪,左常洲,彭 菁,等. 基于双目立体视觉的冻干草莓外部品质等级检测方法研究[J]. 南京农业大学学报,2023, 46(2):396-404.
- [31] 仲 岩,张 甜,陈 钊,等. 2个NBS-LRR基因在不同森林草莓生态型中的遗传变异分析[J]. 南京农业大学学报, 2022,45(4):666-674.
- [32] 张艳菊,程旭楠,刘 东,等. 茶香螺烷对草莓灰霉病菌(*Botrytis cinerea*)抑菌活性研究[J]. 东北农业大学学报,2023, 54(4):38-44,54.